

铁路基建施工技术丛书

电工器材基本知识

尹大夷 编

TIE LU JI JIAN SHI GONG JI SHU CONG SHU

中国铁道出版社

内 容 简 介

本书根据基建施工的特点,从物资供应管理工作需要出发,比较全面地介绍了施工所需电工器材的性能、用途、保管养护方法和简单的工作原理,内容比较丰富,文字通俗易懂,可作为职工培训教材,亦可供物资管理人员、施工技术人员学习和参考。

铁路基建施工技术丛书

电工器材基本知识

尹大夷 编

中国铁道出版社出版

责任编辑 李云霞

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本: 787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张: 15 字数: 343 千

1983年6月第1版 1983年6月第1次印刷

印数: 0001—25,000册 定价: 1.20元

目 录

第一章 绝缘材料	1
第一节 绝缘材料的主要性能及耐热等级	1
第二节 绝缘纤维制品	6
第三节 浸渍纤维制品	12
第四节 云母及云母制品	22
第五节 包带和胶	26
第六节 绝缘材料的检查和保管	30
附 录 绝缘材料产品分类及型号编制方法	32
第二章 电线电缆	36
第一节 架空导线	36
第二节 电磁线	48
第三节 电力电缆	64
第四节 通信电缆	76
第五节 电气装备用电线电缆	93
第六节 电线电缆的验收与保管	108
附 录 电线电缆产品型号编制方法简介	111
第三章 变压器	116
第一节 变压器的分类及其用途	116
第二节 电力变压器的构造及原理	117
第三节 变压器的铭牌	122
第四节 自耦变压器	133
第五节 互感器	136
第六节 变压器类产品进库检查和保管保养	144

第四章 电机	146
第一节 三相异步交流电动机	146
第二节 三相同步交流发电机	166
第三节 直流电机	172
第四节 电机的检查与保管	188
第五章 常用电工仪表仪器	190
第一节 电工仪表的基本知识	190
第二节 磁电系仪表	201
第三节 电磁系仪表	219
第四节 电动系仪表	225
第五节 感应系仪表	237
第六节 电工仪表的检查和保管	246
第七节 电桥	248
附录一 测量指示仪表的符号	263
附录二 电工仪器仪表型号编制办法	269
第六章 避雷器和绝缘子	276
第一节 避雷器	276
第二节 绝缘子	288
第三节 瓷件检查及保管	301
附录 术语解说	306
第七章 低压电器	309
第一节 继电器	309
第二节 电磁式接触器	322
第三节 空气开关	327
第四节 异步电动机用起动器	337
附录 低压电器型号编制方法	350
第八章 高压开关	354
第一节 简易开关	354

第二节	油断路器·····	359
第三节	高压开关的主要参数·····	367
第四节	高压开关的验收与保管·····	372
附录	高压开关设备型号编制办法·····	374
第九章	其他电工器材·····	377
第一节	电容器·····	377
第二节	电池·····	383
第三节	整流器·····	400
第四节	电焊机·····	410
第五节	常用照明电光源·····	419
第六节	电力金具·····	435
附录一	半导体电力变流器型号编制办法·····	470
附录二	电焊机型号编制办法·····	473

第一章 绝缘材料

电流很难通过的材料，称为绝缘材料（又叫电介质）。所谓绝缘材料是相对而言，绝对的绝缘材料是没有的，如对绝缘材料施加交流（或直流）电，都会有极微小的泄漏电流，如施加的交流（或直流）电电压超过一定数值，绝缘材料就会被击穿。因此绝缘材料的绝缘也是有限度的。

绝缘材料的主要用途，就是利用它的介电（绝缘）性能，制造电容器或隔离带电导体等。

第一节 绝缘材料的主要性能及耐热等级

一、主要性能

（一）介电性能

介电性能主要包括导电率和电阻率、电击穿强度、介质损耗、介质损耗角和正切值、电容率等，它们分别表示电介质在施加电压下，所发生的性能变化和绝缘的质量情况。

1. 导电率与电阻率（或称导电系数与电阻系数）

导线的电导与电阻是互成倒数的，如电阻为 R ，则电导 $G = \frac{1}{R}$ 。在绝缘材料中的电导率与电阻率，也与导线中的电导和电阻一样，互成倒数。

绝缘材料的电导率，是指在电场强度不太高，它的泄漏（或称漏导）电流密度 j_L 和直流电场强度 E 的关系符合欧姆定律时，这时泄漏电流密度 j_L 和电场强度 E 的比值称为绝缘

材料电导率，即 $r = \frac{j_L}{E}$ 为电介质的电导率。电导率的倒数 ρ 为绝缘材料的电阻率，即 $\rho = \frac{1}{r}$ 。在固体电解质中，漏导电流分为表面电流和体积电流两部分；电阻率也相应地分为表面电阻率和体积电阻率两部分。

表面电阻率 ρ_s 等于电流通过边长为一厘米正方形的材料表面所碰到的电阻，或等于电流通过单位面积为 1 平方厘米的材料表面所碰到的电阻，单位为欧姆。

体积电阻率 ρ_v 等于电流通过边长为 1 厘米立方体绝缘体的相对两面所碰到的电阻，或等于电流通过单位体积为 1 立方厘米绝缘体所碰到的电阻，单位为欧姆·厘米。

2. 电击穿强度

在绝缘体上外加电压超过某一限值，引起通过绝缘体的电流急剧增加，电介质发生破裂或分解，丧失绝缘特性，这一现象称为电击穿，被击穿瞬间所施加的最高电压称为绝缘击穿电压 U_b ；击穿时的电场强度称为击穿强度 E_b 。均匀电场中 U_b 和 E_b 的关系：

$$E_b = \frac{U_b}{h} \quad (1-1)$$

式中 h 为击穿处电介质的厚度。

3. 介质损耗、介质损耗角和正切值

在外加交流电压的作用下，电介质发热所消耗的电能称为介质损耗。单位时间内所消耗的能量称为介质损耗功率。

介质损耗的大小，主要用介质损耗角正切值 $\tan \delta$ 表示。

介质损耗角 δ 就是电流和电压间的相位角 ϕ 的余角，如图 1—1 所示。

δ 角的正切 $\tan \delta$ 称为介质损耗角正切，也叫介质损耗因素。一般用介质损耗角正切值来评定绝缘材料（电介质）质

量或绝缘结构好坏的一个主要标志。绝缘材料不允许有大的介质损耗，否则会引起剧烈发热导致绝缘体的损坏。

4. 相对介电系数（电容率或介电常数）

相对介电系数即电容器有电介质时的电容与无电介质（真空）时的电容的比值。即：

$$\varepsilon_r = \frac{C}{C_0} \quad (1-2)$$

式中 C —— 有电介质时的电容；

C_0 —— 无电介质时的电容。

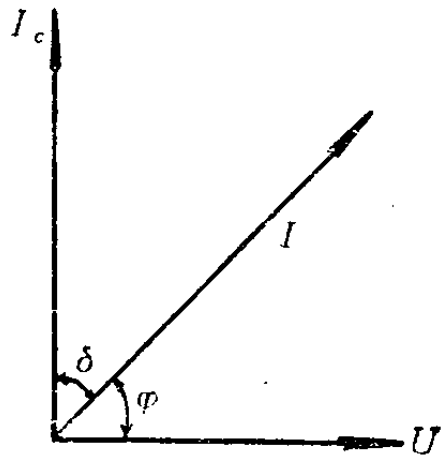


图 1—1 介质损耗角

（二）耐热性能

绝缘材料的耐热性能直接影响着绝缘材料的其它基本性能，如温度升高时，电阻、电击穿强度、机械强度会变小，介质损耗，应力变形等都将增大，从而直接影响电器设备的安全运转和允许负荷的提高，因此提高绝缘材料的耐热性能具有重要的实用价值。它主要包括热老化、导热性、耐热性、热稳定性、热弹性（重量损失）等。

1. 绝缘热老化

绝缘材料热老化主要受温度影响。绝缘材料或绝缘体在长时或短时的高温作用下，发生缓慢或急剧的化学物理变化（劣变），称为热老化。如变压器油内氧化物的形成、漆膜的变硬、发脆及出现裂纹等，都是热老化的表现。

另外，臭氧、日光照射、电场、机械负荷也是加速热老化的因素。

2. 导热性

导热性是表示 1 立方厘米绝缘材料的传热能力。即在相距 1 厘米、温差为 1°C 的材料横断面（1 平方厘米）轴向

上，于1秒钟内所传导的热量，其单位为卡/厘米·秒·度。

3. 耐热性

耐热性表示绝缘材料承受高温作用的能力，即绝缘材料在短期或长期的热作用下，不致改变介电、机械、理化等特性的能力。绝缘材料的最高使用温度，取决于这一性能。

4. 热稳定性

热稳定性表示绝缘材料在温度反复（忽高忽低）变化的情况下，不改变理化、机械、介电性能，并保持本身工作的能力。

对于绝缘涂层，是指在规定温度和持续时间下，不改变外观色泽、无脱层、不剥落和裂纹的性能。

5. 热弹性

热弹性表示绝缘材料在高温作用下，能长期保持其柔韧状态的性能。

热弹性和热稳定性的区别是：前者是表示材料在动态下的寿命，以抗弯曲强度来确定；后者是表示材料在静态下对热作用的稳定性，以重量损失的大小来确定。

热弹性高，是优良新型绝缘材料的一个主要标志。

二、耐 热 等 级

绝缘材料的耐热性能分为Y、A、E、B、F、H、C七个等级，最高允许工作温度，分别为90、105、120、130、155、180及高于180°C。各种绝缘材料耐热等级范围如下所述。聚酯薄膜、聚酯纤维、绝缘漆处理的聚酯织物、有机填料塑料、丙烯酸酯或甲基丙烯酸酯基热固性胶（有无机填料）、热固性合成树脂胶（环氧、聚酯、聚氨酯）等。

B级绝缘材料主要有聚酯基漆包线瓷漆、玻璃纤维、石棉、绝缘漆处理的玻璃纤维织物、绝缘漆处理的石棉、云母

制品（有或无补强材料、粉云母制品（有补强材料）、玻璃纤维层压制品、石棉层压制品、矿物填料塑料、有机物浸渍的石棉水泥（浸渍物在 135°C 时不流出）、热固性合成树脂胶（环氧、聚酯、聚氨酯）等。

F 级绝缘材料主要有玻璃纤维、石棉、绝缘漆处理的玻璃纤维织物和石棉、云母制品、玻璃纤维层压制品、石棉纤维层压制品等。

H 级绝缘材料主要有玻璃纤维、石棉、绝缘漆处理的玻璃纤维织物和石棉、云母制品、玻璃纤维层压制品、石棉层压制品、无机填料。

Y 级绝缘材料主要有棉纱、天然丝、再生纤维素纤维、醋酸纤维素纤维、聚酰胺纤维、纸和纸板及纸制品、木材、苯胺—甲醛树脂、脲—甲醛树脂等。

A 级绝缘材料主要有经过浸渍处理或浸入液体介质内的 *Y* 级绝缘材料、经绝缘漆处理 *Y* 级绝缘材料、层压木材、醋酸纤维素薄膜、丁基醋酸纤维素薄膜、热固性聚酯树脂、油性树脂型漆包线瓷漆、聚酰胺树脂基漆包线瓷漆、聚酰胺薄膜、氯丁橡胶、丁腈橡胶、聚酰胺浇铸树脂、有机物浸渍的石棉水泥（浸渍物应在 110°C 时不流出）、丙烯酸酯或甲基丙烯酸酯基的热固性混合物（无填料）等。

E 级绝缘材料主要有聚乙烯醇缩醛类，聚氨酯或环氧树脂基漆包线瓷漆、纤维素填料塑料、棉纤维层压制品、纸层压制品、热固性聚酯树脂塑料、硅有机橡胶等。

C 级绝缘材料主要有云母、电瓷和其它陶瓷材料、玻璃、石英、处理过的玻璃纤维织物、处理过的石棉、云母制品、石棉水泥、聚四氟乙烯等。

注：（1）所列的一些绝缘材料是作为选用绝缘材料时的参考。绝缘材料由于制造工艺、配方等不同往往影响绝缘材料的耐热性能，因此，只有经过实际运行或按标准所规定的方法进行评定后，才能确定其耐热等

级。新型绝缘材料的增加和发展是日新月异的，所以不可能包括所有的绝缘材料品种。

(2) 有些材料列入一种以上的耐热等级是由于本身具有不同的耐热性。

(3) 材料组合物的耐热性，并不单纯决定于组合物中的某些材料，而是指复合成的组合物整体。

(4) 所列的绝缘材料均允许降级使用。

第二节 绝缘纤维制品

绝缘纤维制品是指直接应用于电器产品中的由天然纤维、合成纤维组成的板、管等绝缘材料。

天然纤维主要有木材纤维和棉、麻纤维。木材纤维一般将木材磨碎，与硷 (NaOH) 及硫化钠 (Na_2S) 共煮，除掉木材中极为有害的木质素及树脂等杂质，经过仔细清洗后获得。由于它们的成品有较好的韧性和抗剪力，故俗称为牛皮纸浆。

用天然纤维制成的成品有一定的机械强度，但属于多孔性物质，故绝缘性差，且有相当强的极性，易吸潮、耐热性差。因此通常与绝缘油组合或经绝缘油浸渍后使用，以提高其电气性能、耐老化性能、耐潮性能和导热性能。

合成纤维一般为塑料纤维，常用的有聚酰胺（又名卡普隆、尼龙、棉纶）和聚酯（又名涤纶、的确凉）纤维以及新颖的热塑性材料聚砜酰胺纤维。合成纤维制品具有良好的耐热性、耐腐蚀性，吸湿性小，抗张强度高，介电性能好等优点，是一种很有发展前途的新产品。

绝缘纤维制品主要包括绝缘纸、纸板、纸管和绝缘纱、带、绳等制品。其中最重要的为绝缘纸、纸板和纸管。

一、绝缘纸

绝缘纸主要有天然纤维纸和合成纤维纸两类。天然纤维

纸由木材纤维经“造纸”而成，主要有电缆纸、电话纸、电容纸、卷绕纸和浸渍纸。合成纤维纸主要有聚酯纤维纸和耐高温合成纤维纸。

（一）电缆纸

电缆纸由未漂白木材纤维浆经纸压机加工而成。表面平整光滑，抗张强度及韧性均较好，能承受电缆包绕时产生的张拉、挠曲和弯曲等力而不损坏。电缆纸根据用途又分低压电缆纸、高压电缆纸和皱纹纸。低压电缆纸用于35千伏以下的电力电缆、控制电缆和通信电缆；高压电缆纸的特点是介质损耗角正切值低，适用于110千伏及以上的电力电缆；皱纹纸用作高压充油电缆的各种接头盒绝缘。

（二）电话纸

电话纸也由未漂白的木材纤维浆制成。其表面光洁，无皱折、孔眼、斑点及硬质块等外来杂质。一般有红、蓝、绿及本色四种颜色，以便识别线芯。电话纸的抗张力及厚度均比电缆纸小。电话纸主要用于通信电缆绝缘和云母箔的补强材料。

（三）电容器纸

电容器纸也由未漂白的木材纤维浆制成。不过比电缆、电话纸制造得更精细，有害木质素及其他有害杂质清除得更干净，因而具有半透明性；密度比电缆纸大，均匀性比电缆纸好；其表面光洁平整，无束状聚积物、纤维毛、皱纹、斑点及机械损伤和孔眼等缺陷，比电缆纸具有更高的电气绝缘性能；但机械强度比电缆纸低。电容器纸的特点是紧度大、厚度薄、尺寸偏差小。按使用要求可分为A类和B类。A类主要用作电子工业用电容器的极间介质，B类主要用作电力电容器的极间杂质。

（四）卷绕纸

卷绕纸也是由未漂白的木材纤维浆制成。其组织均匀，表面平整，无皱纹、条痕、斑点、孔眼、透明点及纤维束、硬质块等缺陷。主要用于制造绝缘管、筒，也用于包缠电器、无线电零部件。

（五）浸渍纸

浸渍纸也是用木材纤维浆制成。组织均匀，纸面平整，无折纹、皱纹、裂口、孔眼、透明点、斑点及硬质块等缺陷。它的密度较小，以保证必要的渗透力，因而它的机械强度及耐击穿能力比电容纸、电缆纸低。它的外表近似平常的牛皮纸。主要供电器、开关、无线电装置作绝缘和结构上的成型零部件用。

（六）聚酯纤维纸

聚酯纤维纸又称聚酯无纺布，由对苯二甲酸乙二醇酯聚酯纤维造纸而成，可与聚酯薄膜制成复合制品，常用于电机槽绝缘。

（七）耐高温合成纤维纸

耐高温合成纤维纸主要有芳香烃聚酰胺纤维纸和芳香烃聚砜酰胺纤维纸。它们分别由相应的合成纤维的沉析纤维和短切纤维混合造纸而成。这类绝缘纸在未经轧光前疏松多孔，轧光后可提高其电气性能和机械性能。它们常与聚酯薄膜、聚酰亚胺薄膜组合成复合制品，主要用于F、H级电机槽绝缘。

二、绝缘纸板和纸管

（一）绝缘纸板

绝缘纸板又叫压纸板或纤维纸板。根据不同的原材料配合比和使用要求，一般分50/50绝缘纸板和100/100绝缘纸板。

50/50绝缘纸板由木材纤维浆和棉纤维各占一半（型号

中分母的数字为棉纤维含量)经造纸压光而成。它的质地比较疏松,吸油性、抗张强度、耐弯性和耐热性均好,常浸在变压器油中用作Y级绝缘材料和保护材料以及耐震绝缘零部件等。

10%绝缘纸板为纯木材纤维浆经造纸压光而成,密度较大;电气性能较好,常单独用作空气中的绝缘材料,其中薄型纸板(通常以其表面颜色称为青壳纸或黄壳纸)可与聚酯薄膜制成复合制品,作E级绝缘材料用,也可单独作绕线绝缘保护层;厚型纸板则制成某些绝缘零件和保护层。

绝缘纸板要求表面平整,切边整齐,无翘曲、鼓泡、压痕、裂纹、孔眼、纤维束及外来导电杂质,在冲压、剪切加工时不分层。绝缘纸板的性能见表1—1。

(二) 钢纸板

钢纸板是因它坚韧和机械强度大而得名。有人称较薄的品种为人造皮或革纸,但最通用的别名则为英语名称的谐音“反白”(Fiber)。

钢纸板是由棉纤维制成的松散无胶纸,经热氯化锌溶液处理成带胶粘性的物质,再经圆筒卷制使一层层纤维相互粘合很牢,制成适当厚度后再经滚压紧密,然后泡入水中漂洗去其中的氯化锌,以提高其电气性能,最后经热碾法加工干燥而成。未加染料的呈青灰色。

钢纸板组织紧密,富有弹性,弯曲时不会开裂或折断,表面光滑、平整、洁净,无皱纹、起泡、透明点等疵病,有良好的锯、钻、冲、剪等加工性能。它适于作小型电机槽楔和其它绝缘零件。硬钢纸板的性能见表1—2。

(三) 钢纸管和玻璃钢复合钢纸管

钢纸管的原材料及其制造工艺与钢纸板一样,仅是形状不同。它有良好的机械加工性能,在100°C下长期工作其外

形和理化性能无明显变化，吸油性小，灭弧性好，适用于作熔断器、避雷器的管芯和电机用线路套管。

绝缘纸板的性能 表 1—1

序号	性 能 名 称	50/50	100/00
1	聚度(g/cm³)		
	厚度0.1~0.4mm	—	1.15~1.2
	厚度0.1~0.5mm	1.2~1.25	—
	厚度0.5mm以上	—	1.00~1.15
2	抗张强度(kgf/cm²)		
	厚度0.1~0.5mm 纵向	1200~1600	900~1400
	横向	350~400	350~400
	经往复弯折100次后 纵向	720~900	675~800
	厚度0.8及以上 纵向	—	
	横向		700~800
3	收缩率%厚度2.0~3.0mm		
	经干燥后 纵向	—	1~10
	横向	—	1~2.5
4	灰分%	0.5~1.5	0.5~1.1
5	水分%	6~10	6~10
6	击穿强度(kV/mm)		
	厚度0.1~0.4mm	>13	11~15
	厚度 0.5mm	>12	42~50
	厚度 0.8mm	—	39~50
	厚度 1.0mm	—	36~50
	厚度 1.5mm	—	32~45
	厚度 2.0mm	—	29~35
	厚度 2.5mm	—	24~30
	厚度 3.0mm	—	22~27
	纵向弯折一次后厚度0.1~0.4mm	9~14	8~14

玻璃钢复合钢纸管简称复合管，又叫高压消弧管。它是用浸有环氧树脂或聚酯树脂的无捻玻璃纤维用湿法缠绕在钢纸管上制得。复合管具有很好的灭弧性能和良好的电气性

能：机械强度较高，可承1,000~2,000个大气压，耐热、耐潮、耐寒、耐日光照射，可用作10~110千伏熔断器和避雷器的消弧管。

硬钢纸板的性能

表 1—2

序号	性能名称	一 号	二 号
1	紧度(g/cm ³)		
	厚度0.5~0.9mm	1.1~1.18	1.05~1.29
	厚度1.0~6.0mm	1.2~1.36	1.1~1.34
	厚度7.0~3.0mm	>1.1	>1.1
2	抗张强度(kgf/cm ²)		
	纵向 厚度0.5~0.9mm	650~990	550~850
	厚度1.0~3.0mm	700~1040	550~960
	厚度3.5~5.0mm	>650	>500
	厚度6.0~30mm	>500	>450
	横向 厚度0.5~0.9mm	450~540	350~570
	厚度1.0~3.0mm	450~650	350~560
	厚度3.5~5.0mm	>500	>300
	厚度6.0~30mm	>300	>300
3	胶合系数(g/cm)	160~570	160~600
4	吸水率%在20±1℃水中浸24小时		
	厚度0.5~0.9mm	62~65	50~65
	厚度1.0~3.5mm	48~60	43~65
	厚度3.6~12mm	<50	32~60
	厚度12.1~30.0mm	<40	<60
5	氯化锌含量(%)	0.13~0.15	0.15~2.0
6	灰分 %	0.4~1.5	0.72~2.5
7	水分 %	6~10	6~10
8	体积电阻率Ω·cm(20±5℃)	>10 ⁸	—
9	击穿强度(kV/mm)		
	厚度0.5~0.9mm	7.0~10	4.5~14
	厚度1.0~2.0mm	5.0~10	3.5~10
	厚度2.1~12.0mm	3.5~11	2.0~8

第三节 浸渍纤维制品

天然、人造和合成纤维制品，一般都不直接用于电器产品中，因天然纤维织品表面多毛不光洁，且微孔多，容易吸潮，电气性能较差，耐热性差，人造纤维制品及合成纤维制品的表面，也往往容易吸附着水份，影响电气性能。所以纤维制品一般需经绝缘漆浸渍，以提高其耐热和耐潮性能，从而提高其电气性能、机械强度和工作温度。经过各种绝缘漆浸渍过的绝缘纤维制品，称为浸渍纤维制品或浸渍织物。被浸渍的绝缘纤维制品称为浸渍纤维制品的底材。浸渍纤维制品的底材和浸渍绝缘漆决定浸渍纤维制品的机械性能和电气性能。

用作底材的有棉布、棉纤维管、薄绸、无碱玻璃布、漆管以及无碱玻璃纤维与合成纤维交织物等。

棉、绸纤维制品有一定的机械强度和较好的柔软性，绸比棉更柔软；但棉、绸耐潮、耐腐、耐热性能低；且系国计民生必需物资，因此除某些必要场合外，已逐步被人造、合成纤维制品所取代。

人造纤维制品主要用无碱玻璃纤维制品，它是以不含碱或含碱极少的金属氧化物的玻璃溶液以快速拉成细丝的织物。具有电阻大、介质损耗角小、抗张力高、吸湿性小和耐热性好等特点，很适合做电器绝缘材料，但柔软性较差，故常与合成纤维交织，以改善其柔软性。

合成纤维主要用聚酯纤维制品（的确凉）。它具有一定的机械强度和良好的柔软性；但粘着力较差，染色困难，故常与人造纤维合织，相互改善其性能。

绝缘漆主要用油性漆、沥青醇酸漆、聚氨酯漆、环氧树脂漆、有机硅漆以及聚酰亚胺漆等，其中油性漆、沥青醇酸